

電子ビーム近接露光装置及びそのためのマスクユニット
**ELECTRON BEAM PROXIMITY EXPOSURE APPARATUS
AND MASK UNIT THEREFOR**

発明の背景

5 発明の属する技術分野

本発明は、半導体集積回路などの製作工程で使用される微細パターンを露光する露光装置及びそこで使用するマスクユニットに関し、特に露光パターンに対応する開口を有するマスクを半導体ウエハなどの試料の表面に近接して配置し、マスクに電子ビームを照射して開口を通過した電子ビームで露光を行う電子ビーム近接露光装置及びそこで使用するマスクユニットに関する。

関連技術の説明

半導体集積回路の高集積化が図られており、回路パターンの一層の微細化が望まれている。現在、微細化の限界を規定しているのは主として露光装置であり、光学式露光装置であるステッパでは、光源の短波長化、NA（開口数）の増加、位相シフト法の採用など各種の方策が取られている。しかし、これ以上の微細化は、製造コストの飛躍的な増大などの各種の問題がある。そこで、電子ビーム直接描画装置やX線露光装置などの新しい方式の露光装置が開発されているが、安定性、生産性及びコストなどの面で多くの問題がある。

電子ビーム近接露光方式は、その露光原理の単純さから “High Throughput Submicron Lithography with Electron Beam Proximity Printing” (H. Bohlen et al., Solid State Technology, September 1984, pp. 210-217) (以下、文献1と称する) に示される如く、古くから研究開発が行なわれたが、電子ビーム特有のプロクシミティ効果の除去が困難で実用性がないと考えられていた。

米国特許第 5,831,272 号（日本特許第 2951947 号に対応）及び “Low energy electron-beam proximity projection lithography: Discovery of missing link” (Takao Utsumi, J.

Vac. Sci. Technol. B 17(6), Nov/Dec 1999, pp. 2897-2902)は、この困難を解決して、量産レベルで超微細加工用に使用可能な電子ビーム近接露光装置を開示している。

図1は、米国特許第 5,831,272 号に開示された電子ビーム近接露光装置を実現する場合の基本構成を示す図である。図1に示すように、電子光学鏡筒（コラム）10には、電子ビーム15を発生する電子銃14、電子ビーム15を平行ビームにする照射レンズ18、主偏向器20、及び副偏向器50が設けられている。主偏向器20は、図1では1つの偏向器として示してあるが、実際には2段構成になっており、1段目の偏向器で偏向した後2段目の偏向器で逆の偏向量偏向することにより、光軸に平行で照射位置が変化した電子ビームが得られるようになっている。同様に、副偏向器50も実際には2段構成になっており、1段目の偏向器で偏向した後2段目の偏向器で逆に2倍の偏向量偏向することにより、主偏向器で変化された照射位置は変わらないが、照射角度が微調整できるようになっている。真空試料室8には、マスク30を保持して移動するマスクステージ36、反射電子を検出する反射電子検出器38、ウエハ40を保持して移動するウエハステージ44、ウエハステージ44上に設けられた標準マーク60、及びウエハ40の表面の高さを検出する高さ検出器46が設けられている。マスクステージ36の移動量を検出するマスクステージ用レーザ測長器38と、ウエハステージ44の移動量を検出するウエハステージ用レーザ測長器48が設けられており、各ステージの移動量を非常に高精度で検出できるようになっている。また、ウエハステージ44は、少なくとも2軸方向に移動可能である。ここでは、反射電子検出器38を使用するが、これの代わりに二次電子を検出する二次電子検出器を設けることも可能である。

装置の制御は計算機（コンピュータ）70で行われる。マスクステージ用レーザ測長器38とウエハステージ用レーザ測長器48の検出信号は、コンピュータ70のデータベースに供給される。反射電子検出器38と標準マークに設けられた検出器と高さ検出器46の検出信号は、信号処理回路76に供給されて、デジタル信号に変換された後、コンピュータ70のデータベースに供給される。照射レンズ18は電磁レンズ又は静電レンズであり、コンピュータ70から照射レンズ電源71を介して制御される。コンピュータ70はデジタル演算回路75に偏向量データを供給し、デジタル演算回路75はあらかじめ記憶された補正データに従って偏向量データを補正する演算を行

い、主DAC/AMP 73と副DAC/AMP 74に供給する。主DAC/AMP 73と副DAC/AMP 74は、それぞれ補正された偏向量データをアナログ信号に変換した後増幅して主偏向器20と副偏向器50に供給する。これにより、所望の偏向が行われる。

- 5 以上のような露光装置で、マスクに対してウエハ40の位置を合わせた上で電子ビーム15を走査して、マスク全面のパターンを露光する。

図2(A)及び2(B)は、それぞれ電子ビーム近接露光装置で使用するマスクの平面図及び断面図である。マスク30は、例えば厚さ数mmの薄い板状の部材で、中心部の参照番号32で示す部分が数 μ mの厚さに加工されており、その中の参照番号33で示す部分に開口パターンが形成される。参照番号35は、マスクの位置を検出するためのマークである。

上記の電子ビーム近接露光装置で使用するマスク30は、開口部が穴であるステンシルマスクである。ステンシルマスクでは、例えば、図3(A)に示すように、大きな正方形パターン341内に小さな正方形パターン342があり、大小2つの正方形パターンの間の部分343が開口であるような環状パターンを、1つのマスクで露光することは不可能であり、図3(B)及び3(C)に示すように、この環状パターンをパターン344と345及びパターン346と347の2組のパターンに分けて2回に分けて露光を行う必要がある。ここでは、このような1つのパターンを露光するのに必要な2つのマスクを相補マスクと称する。すなわち、2つの近接露光用相補マスクを用意し、一方のマスク(例えばパターン344及び345を有する)を取り付けた電子ビーム近接露光装置で露光を行った後、他方のマスク(例えばパターン346及び347を有する)を取り付けた電子ビーム近接露光装置で露光する必要がある。しかし、これでは、1回目の露光が終了した後、ウエハを真空のチャンバ内から通常

10
15
20
25

の環境に取り出した後、再び2回目の露光を行う電子ビーム近接露光装置の真空のチャンバ内に搬送する必要がある。すなわち、真空と通常の大気圧状態の間で何度も搬送する必要がある。そのため、スループットが低下するだけでなく、ごみなども付着し易くなり歩留りを低下させるという問題を発生する。

ステッパなどの光露光装置に使用されるフォトマスクの場合、ガラス基板上にクロム層などでパターンを形成した後、パターン上にベリクル層を形成して保護膜として

いる。ペリクル層の表面にごみが付着したかを監視し、問題になるレベルのごみが付着した場合には、ペリクル層の表面を清掃してごみを除去するが、清掃する場合にもパターンを損傷することはない。また、ペリクル層の表面はペリクル層の厚さ分フォーカスが外れるので、付着したのが小さなごみであれば特に問題は生じない。

5 これに対して、上記の電子ビーム近接露光装置で使用するマスク30は、開口部が穴であるステンシルマスクであることが必要であり、上記のペリクル層を設けることはできない。そのため、上記の電子ビーム近接露光装置ではマスク表面へのごみなどの付着が大きな問題になる。電子ビーム近接露光装置内で使用中にごみが付着して欠陥が生じた場合、直接マスク表面を清掃することは難しく、修正機又は洗浄機のような装置を使用してごみを除去することになる。しかし、このためにはマスクを一旦電子ビーム近接露光装置の外に取り出して清掃し、再びマスクを電子ビーム近接露光装置に装着する必要があるが、この間電子ビーム近接露光装置は使用できず、スループットが低下するという問題が生じる。

10 また、マスクは、レジスト層を塗布した試料に近接して、例えば約50 μm の間隔で配置されるので、レジスト層からの蒸気などにより汚染され易く、この汚染はマスクのチャージアップを生じ照射位置の誤差を引き起こす。マスクが汚染された場合には、装置からマスクを取り出して清掃するか、チャンバ内にオゾンなどを導入してプラズマアッシングなどでマスクの表面を清掃する必要がある。いずれにしろ、一旦電子ビーム近接露光装置による露光を停止してマスクの清掃を行う必要があるが、スループットが低下するという問題が生じる。

15 更に、最小線幅が0.2 μm 以下のマスクの場合、マスク部分の厚さは0.8 μm 以下であることが必要である。米国特許第5,831,272号に開示された電子ビーム近接露光装置では、このマスクに照射される電子ビームの強度は比較的小さく、電子ビームの照射によるマスクの損傷は非常に少ないが、それでも長時間使用すればマスクが劣化して白欠陥などを生じ、使用できなくなる。このような場合には、電子ビーム近接露光装置からマスクを取り出して修正機で補修した後再び装着するか、新しいマスクを装着する必要がある。いずれにしろ、一旦電子ビーム近接露光装置による露光を停止してマスクの補修又は交換を行う必要があるが、スループットが低下するという問題が生じる。

発明の概要

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、相補マスクの交換、マスクの清掃及び補修のための交換、及び新しいマスクへの交換などのために、マスクを装置外に取り出す頻度を低減して、スループットを向上することを目的とする。

- 5 上記目的を実現するため、本発明の電子ビーム近接露光装置は、複数のマスクを設けた1枚のマスク基板を使用し、このマスク基板を移動するマスク移動機構を設け、複数のマスクの中から露光に使用するマスクを選択可能にする。

本発明の電子ビーム近接露光装置は、平行な電子ビームを出射する電子ビーム源と、開口を有する複数のマスクが設けられたマスク基板と、前記マスク基板を移動するマスク移動機構と、試料を保持して移動するステージと、を備え、前記マスク移動機構により前記マスク基板を移動して、前記複数のマスクのうちの1つを前記電子ビームの経路中に前記試料の表面に近接して配置し、前記複数のマスクのうちの1つの前記開口を通過した電子ビームで、前記試料の表面に前記開口に対応するパターンを露光することを特徴とする。

- 10 本発明の電子ビーム近接露光装置では、マスク基板を装置外に取り出すことなく使用するマスクを交換できるようになり、マスク交換時のスループットの低下が低減される。もちろん、交換できるのはマスク基板に設けられたマスクであり、マスク基板に設けられたマスク以外のマスクに交換する場合には、一旦マスク基板を装置外に取り出して交換する必要があるが、マスク基板に相補マスクの組や同一パターンの複数の
- 15 20 のマスクを設けることにより、マスク基板の交換の頻度は大幅に低減できる。

マスクの部分は非常に薄い膜であることが必要である。マスク基板では、複数のマスクは互いに離して設け、マスクの部分のみ薄くし、他の部分は厚い基板とすることが望ましい。

図面の簡単な説明

- 25 The nature of this invention, as well as other objects and advantages thereof, will be explained in the following with reference to the accompanying drawings, in which like

reference characters designate the same or similar parts throughout the figures and wherein:

図 1 は、電子ビーム近接露光装置の基本構成を示す図であり；

図 2 (A) は、電子ビーム近接露光装置で使用するマスクを示す図であり、図 2 (B) は、図 2 (A) の 2 (B) - 2 (B) 線に沿った断面図であり；

5 図 3 (A)、3 (B) 及び 3 (C) は、相補マスクの説明図であり；

図 4 (A) は、本発明の実施の形態におけるマスクユニットを示す図であり、図 4 (B) は、図 4 (A) の 4 (B) - 4 (B) 線に沿った断面図であり；

図 5 (A) 及び 5 (B) は、マスクユニットに設けるマスクの種類と配置を示す図であり；

10 図 6 (A)、6 (B)、6 (C) 及び 6 (D) は、マスクユニットを製作する方法を示す図であり；

図 7 は、マスクユニットの各マスクのパターンを露光する一例を示す図である。

好ましい実施の形態の詳細な説明

15 本発明の実施の形態の電子ビーム露光装置は、図 1 に示した構成と同じ構成を有し、マスク 30 の替わりに複数のマスクを有するマスクユニットが設けられ、複数のマスクのいずれかを電子ビームの経路中に移動可能なようにマスクステージ 36 の移動範囲が更に大きくなっている点が異なる。

図 4 (A) 及び 4 (B) は、それぞれ本発明の実施の形態のマスクユニットを示す上面図及び断面図である。

20 図 4 (A) に示すように、マスクユニット 301 には 16 個のマスク 302 が設けられている。各マスク 302 は、図 2 (A) で参照番号 32 で示した部分と同じ形状であり、その部分は数 μm ないしサブマイクロメートルの厚さに加工されており、その中に開口パターンと位置検出マークが形成されている。マスク 302 は、それぞれ離れて形成されている。

25 図 4 (B) に示すように、各マスク 302 の部分は、数 μm ないしサブマイクロメートルの厚さに加工されているが、他の部分は、マスクユニット 301 が反らないように基板の厚さのままである。

図5 (A) 及び5 (B) は、マスクユニット301の16個のマスクに形成するパターンの例を示す図である。図5 (A) は、第1のパターンの相補マスクAとA'、及び第2のパターンの相補マスクBとB'を、それぞれ4組形成した例である。このようなパターンの組み合わせを使用することにより、マスクユニット301を装置外に
5 取り出して交換することなく、第1及び第2のパターンを露光できる。例えば、第1のパターンを露光する時には、いずれかのマスクAを電子ビームの経路中に移動し、ステージに載置した試料（ウエハ）の各チップ（ダイ）を露光位置に移動して順次露光を行い、すべてのチップの露光が終了したらマスクA'を電子ビームの経路中に移動し、同様の動作を行う。これによりウエハ上のすべてのチップに第1のパターンが
10 露光される。第2のパターンを露光する時も同様である。

ある種類のマスク、例えばマスクAの1つが汚染されたり損傷して正常なパターンが露光できなくなった時には、他の3つのマスクAを使用する。従って、4個の同じマスクが使用できなくなるまで、マスクユニットを交換する必要はない。

図5 (B) は、8種類のパターンの相補マスクAとA'、BとB'、CとC'、DとD'、EとE'、FとF'、GとG' 及びHとH'を形成した例である。このようなパターンの組み合わせを使用することにより、マスクユニット301を装置外に取り出して交換することなく、8種類のパターンを露光できる。但し、1つのマスクが損傷すると、そのマスクのパターンは露光できなくなるので、そのパターンを露光する時にはマスクユニット301を交換する必要がある。従って、図5 (B) のパターンの組み合わせは、マスクの耐久性に比べて露光回数が少ない場合に適している。
20

図6 (A) ～6 (D) は、マスクユニットを製作する方法を説明する図である。

図6 (A) に示すように、マスクユニット301の基板の第1面にレジスト層303を塗布し、16個の各マスクの部分に開口パターンを露光する。その後、レジストを現像して開口部のレジストを除去し、更に第1面をエッチングして図6 (B) に示すような穴304を形成する。この穴は開口パターンに対応し、その深さは最終マスクの厚さ（図2 (A) で参照番号32で示す部分の厚さ）より若干深くなるようにする。
25

次に、図6 (C) に示すように、第2面の図2 (A) で参照番号32で示す部分に対応する以外の部分にレジスト層305を形成し、第2面をエッチングして参照番号

3 2 で示す部分を最終マスクの厚さにする。これにより、図 6 (B) の開口部 3 0 4 は貫通し、開口パターンが形成される。これにより、図 6 (D) に示すように、マスクユニットが形成される。

図 6 (A) に示すように、各マスクの部分に開口パターンを露光する時、任意のパターンが露光できる従来の電子ビーム露光装置を使用して、それぞれの開口パターンを順次露光してもよいが、1つのマスクを露光するのに非常に長時間を要する。そこで、図 5 (A) に示すように同じパターンのマスクが複数個ある場合には、1つのマスクを製作し、図 1 に示した電子ビーム近接露光装置にそのマスクを装着して、図 7 に示すように、マスクユニット 3 0 1 の基板の所定部分に複数回露光を行うようにしてもよい。これであれば、マスクユニットの露光に要する時間を短縮することができる。

以上説明したように、本発明によれば、一度マスタマスクを製作すれば、実際の試料の露光で使用するマスクを容易に低コストで製作することが可能であり、マスクの耐久性が短くても半導体装置の製造コストに与える影響を低減できる。更に、歪の補正が可能な電子ビーム近接露光方法でマスタマスクからマスクを複製するので、最終的に得られるマスクはマスタマスクより歪の少ない高精度のマスクとなる。

It should be understood, however, that there is no intention to limit the invention to the specific forms disclosed, but on the contrary, the invention is to cover all modifications, alternate constructions and equivalents falling within the spirit and scope of the invention as expressed in the appended claims.

前記マスク基板の前記複数のマスクの部分が、他の部分より薄いことを特徴とする請求項5に記載の電子ビーム近接露光装置。

8. 前記複数のマスクは前記マスク基板上に互いに間隔をあけて設けられ、
前記マスク基板の前記複数のマスクの部分が、他の部分より薄いことを特徴とする
請求項7に記載の電子ビーム近接露光装置。

前記マスクユニットは、前記マスクが複数設けられた単一のマスク基板であることを特徴とする電子ビーム近接露光装置用マスクユニット。

開示の要約

平行な電子ビームを出射する電子ビーム源と、開口を有する複数のマスクが設けられたマスク基板と、マスク基板を移動するマスク移動機構と、試料を保持して移動するステージと、を備える電子ビーム近接露光装置を用いて、マスク移動機構によりマスク基板を移動して、複数のマスクのうちの1つを電子ビームの経路中に試料の表面に近接して配置し、そのマスクの開口を通過した電子ビームで、試料の表面に開口に対応するパターンを露光する。これにより、マスクの交換のためにマスクを装置外に取り出す頻度が低減され、装置のスループットが向上する。